

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-026-15 改0
提出年月日	2023年12月6日

建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用

目 次

1. 概要	1
1.1 検討概要	1
1.2 評価対象部位及び検討方針	2
2. 検討結果	14
2.1 地盤及び基礎スラブの検討	14
2.1.1 検討内容及び検討結果	14
2.2 上部構造物の検討	15
2.2.1 検討内容及び検討結果	15

1. 概要

1.1 検討概要

本資料は、柏崎刈羽原子力発電所第6号機の建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用性について説明するものである。

建物・構築物の耐震評価として行う水平及び鉛直方向の荷重の組合せを考慮した評価において、組合せ係数法による評価値と水平及び鉛直方向の地震応答の時刻歴和による評価値の比較を行うことで、組合せ係数法の適用性を確認する。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするもので、使用する計算機プログラムについても以下の資料に準ずる。

- ・ VI-2-2-2 「原子炉建屋の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-6 「タービン建屋の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-12 「廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-14 「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-4-2-1 「使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-5-5-1-2 「復水貯蔵槽の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-9-2-1 「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-9-3-1 「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-9-3-4 「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書」

1.2 評価対象部位及び検討方針

建物・構築物の耐震評価に考慮する荷重の組合せにおいては、以下に示す組合せ係数法を適用し、水平及び鉛直方向の地震力が同時に不利な方向に作用するものとして評価を実施している。

①： $1.0 \times$ 水平地震力による荷重 $+0.4 \times$ 鉛直地震力による荷重

②： $0.4 \times$ 水平地震力による荷重 $+1.0 \times$ 鉛直地震力による荷重

耐震評価に組合せ係数法を用いている評価対象部位及び評価方法を表 1-1 に示す。評価対象部位のうち、地盤については地震応答解析に基づいて接地圧の評価を、杭については地震応答解析に基づいて杭の断面及び支持力の評価を、その他の部位については地震応答解析又は応力解析に基づいて断面の評価を実施している。

表 1-1 耐震評価に組合せ係数法を用いている評価対象部位及び評価方法

建物・構築物	評価対象部位	評価方法	地震動
原子炉建屋	上部構造物 ・原子炉格納容器 コンクリート部 ・使用済燃料貯蔵 プール	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 S_s 弾性設計用地震動 S_d
	基礎スラブ	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 S_s 弾性設計用地震動 S_d
	地盤	地震応答解析による評価 (接地圧の評価)	基準地震動 S_s 弾性設計用地震動 S_d
タービン建屋	基礎スラブ	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 S_s
	地盤	地震応答解析による評価 (接地圧の評価)	基準地震動 S_s
廃棄物処理建屋	上部構造物 ・復水貯蔵槽	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 S_s
	基礎スラブ	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 S_s
	地盤	地震応答解析による評価 (接地圧の評価)	基準地震動 S_s
格納容器圧力逃がし装置基礎	基礎スラブ	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 S_s

建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用性を検討するにあたっては、まず、水平及び鉛直方向のそれぞれの最大値をもとに組合せ係数法を適用した評価値（以下「組合せ係数法による評価値」という。）が、水平及び鉛直方向の地震応答の時刻歴を時々刻々組み合わせて算定した時刻歴の最大値をもとにした評価値（以下「時刻歴和による評価値」という。）と同等又は保守的であることを確認する。その結果、同等又は保守的と言えない場合は、時刻歴和による評価値に基づいた評価が及ぼす各部への影響を検討する。その結果、許容限界以内であることを確認することにより、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。

組合せ係数法を用いて評価している部位は、地盤、基礎スラブ、杭及び上部構造物に分類される。以下に、分類された評価部位に対する代表建屋の選定方法及び具体的な検討方針を示す。

(1) 地盤及び基礎スラブ

地盤については地震応答解析に基づく接地圧の評価において、組合せ係数法を採用している。一方、基礎スラブについては応力解析における荷重組合せにおいて、組合せ係数法を採用しているが、接地圧は地盤から基礎スラブへの地震荷重となることから、基礎スラブの検討においても接地圧に対する組合せ係数法の検討を行う。

検討の対象建屋は、原子炉建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋であるが、これらの建屋から以下に示すように代表建屋を選定する。

建物・構築物の構造特性は水平方向と鉛直方向で異なり、水平応答と鉛直応答は異なる固有の周期で振動している。水平地震力と鉛直地震力を各々の解析で算定し、それらの同時性を考慮することを鑑みれば、両者の固有周期が近いほど接地圧への相互の影響が大きくなると考えられる。なお、解析上の接地率が小さくなる場合に、基礎浮上り非線形の影響が大きくなることから、組合せ係数法の適用性に影響することが考えられる。以上より、建屋の水平と鉛直の固有周期の比又は接地率が最も小さい建屋を評価対象建屋として選定する。全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動 S_s-1 の基本ケースにおける各建屋の水平と鉛直の固有周期の比及び接地率を整理して表 1-2 に示す。表 1-2 より、評価対象建屋として固有周期の比が最も小さいタービン建屋を、接地率が最も小さい建屋として廃棄物処理建屋を選定する。タービン建屋に組合せ係数法を適用することの妥当性については、「VI-2-2-6 タービン建屋の耐震性についての計算書」の補足説明資料「別紙 7 水平・鉛直を分離した解析について」による。また、廃棄物処理建屋に組合せ係数法を適用することの妥当性については令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事の計画の説明資料「V-2-2-12 廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」の補足説明資料「別紙 6 水平・鉛直を分離した解析について」による。

表 1-2 各建屋の固有周期及び接地率（基準地震動 S_s-1 、基本ケース）

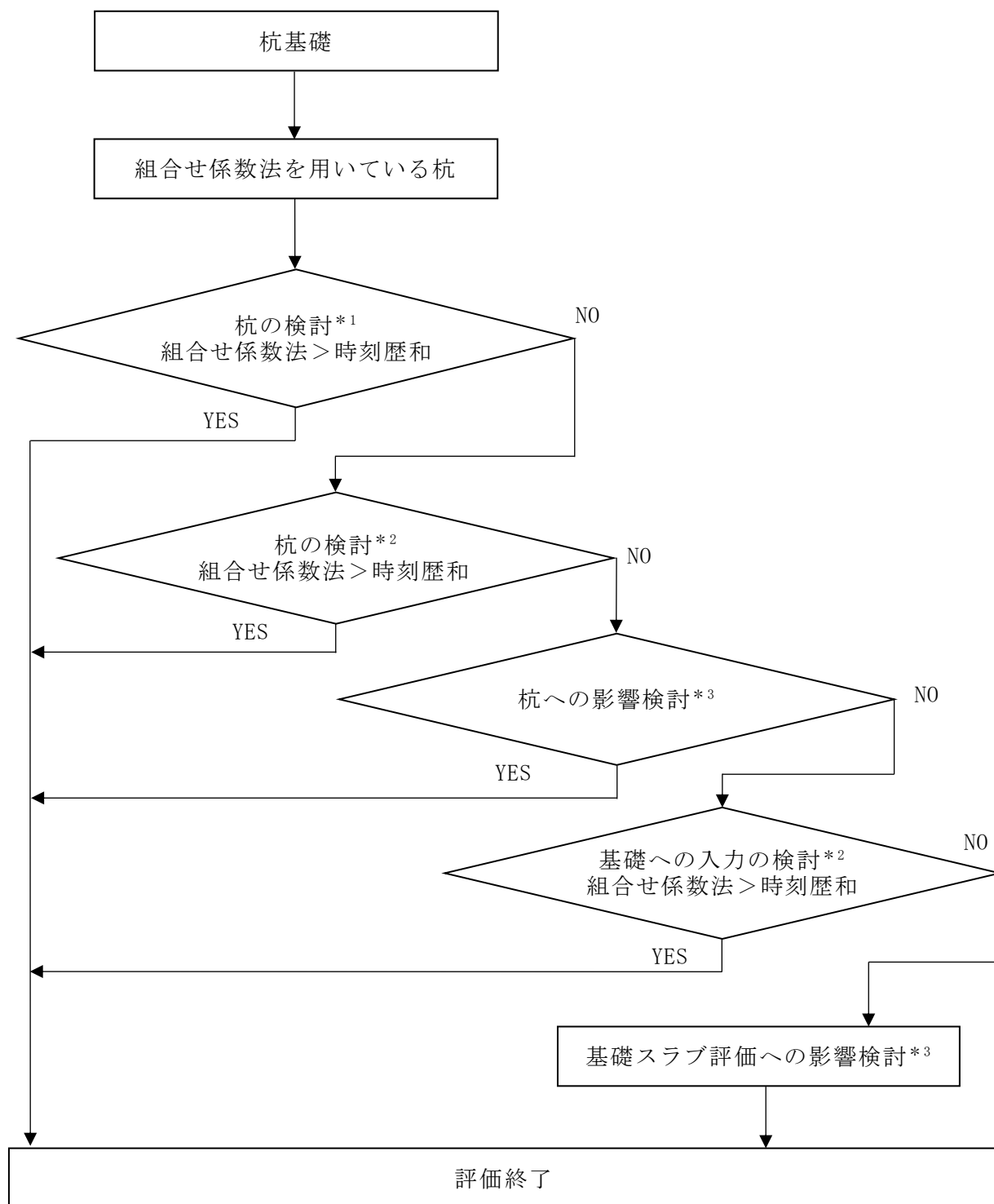
建屋	方向	水平 一次	鉛直 一次	固有周期 の比	接地率	備考
		(秒)	(秒)	水平/鉛直	(%)	
原子炉建屋	NS	0.440	0.258	1.70	68.1	—
	EW	0.430		1.66	68.9	
タービン建屋	NS	0.360	0.231	<u>1.55</u>	100	代表
	EW	0.391		1.69	100	
廃棄物処理建屋	NS	0.394	0.203	1.94	<u>30.7</u>	代表
	EW	0.340		1.67	93.6	

注：下線部は、固有周期の比又は接地率が最小となる数値を示す。

(2) 杭基礎

杭基礎については、杭の断面及び支持力の評価において、組合せ係数法の適用性を検討する。杭基礎の検討フローを図 1-1 に示す。

検討対象の建物・構築物は、格納容器圧力逃がし装置基礎であるが、杭の断面及び支持力の評価において、組合せ係数法を用いていないことから、本検討の対象外とする。



注記*1：基本ケース（応答スペクトルに基づく地震動，断層モデルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動）による検討。

*2：基本ケース（応答スペクトルに基づく地震動，断層モデルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動）の地震荷重を包絡した検討

*3：材料物性の不確かさを考慮した検討

図 1-1 杭基礎の検討フロー

(3) 上部構造物

対象となる上部構造物は、水平地震力の影響を受けやすい、アスペクト比の大きい復水貯蔵槽を代表として検討する。評価対象部位のアスペクト比を表 1-3 に示す。

なお、水平荷重による応力と鉛直荷重による応力の組合せを考えるのは、表 1-4 に示すように水平加振方向の壁の軸応力であることから、水平応答による曲げモーメントより生じる鉛直軸応力度 σ_H と鉛直応答による軸応力度 σ_Z の組合せを検討する。

検討は、基準地震動 S_s に対して実施することとし、応答スペクトルに基づく地震動、断層モデルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動に対して実施する。検討においては、まず組合せ係数法による最大軸応力度が、時刻歴和による最大軸応力度と同等又は保守的であることを確認する。同等又は保守的と言えない場合は、時刻歴和による最大軸応力度が上部構造物へ及ぼす影響検討を行う。

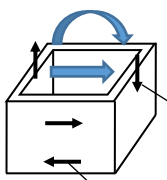
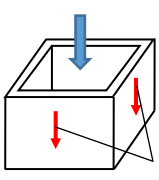
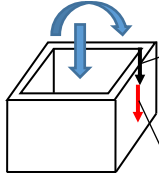
上部構造物の検討フローを図 1-2 に示す。

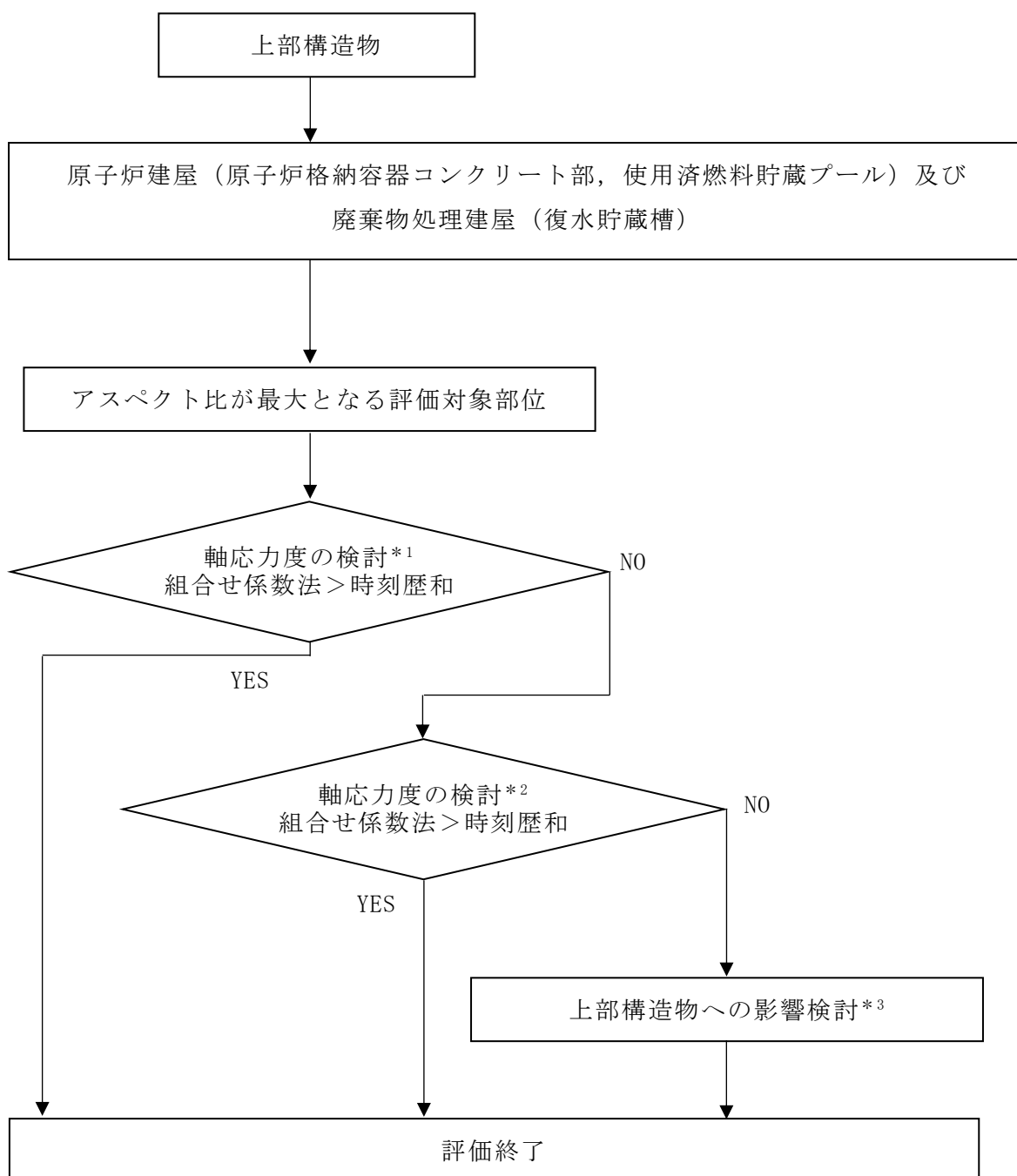
表 1-3 評価対象部位のアスペクト比

評価対象部位	高さ H (m)	幅 W (m)	アスペクト比 H/W	備考
原子炉建屋 ・原子炉格納容器コンクリート部	31.90	33.00	0.97	—
原子炉建屋 ・使用済燃料貯蔵プール	14.12	18.00	0.78	—
廃棄物処理建屋 ・復水貯蔵槽	17.20	15.00	<u>1.15</u>	代表

注：下線部は、アスペクト比が最大となる数値を示す。

表 1-4 上部構造物の組合せ応力

荷重と応力の関係		考慮すべき組合せ応力
水平動による応力	鉛直動による応力	
 <p>水平応答による曲げモーメントより生じる鉛直軸応力度 σ_H</p> <p>水平力に伴う面内せん断応力度 τ</p>	 <p>鉛直応答による軸応力度 σ_Z</p>	 <p>水平応答による曲げモーメントより生じる鉛直軸応力度 σ_H</p> <p>鉛直応答による軸応力度 σ_Z</p>



注記*1：基本ケース（応答スペクトルに基づく地震動，断層モデルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動）による検討。

*2：基本ケース（応答スペクトルに基づく地震動，断層モデルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動）の地震荷重を包絡した検討。

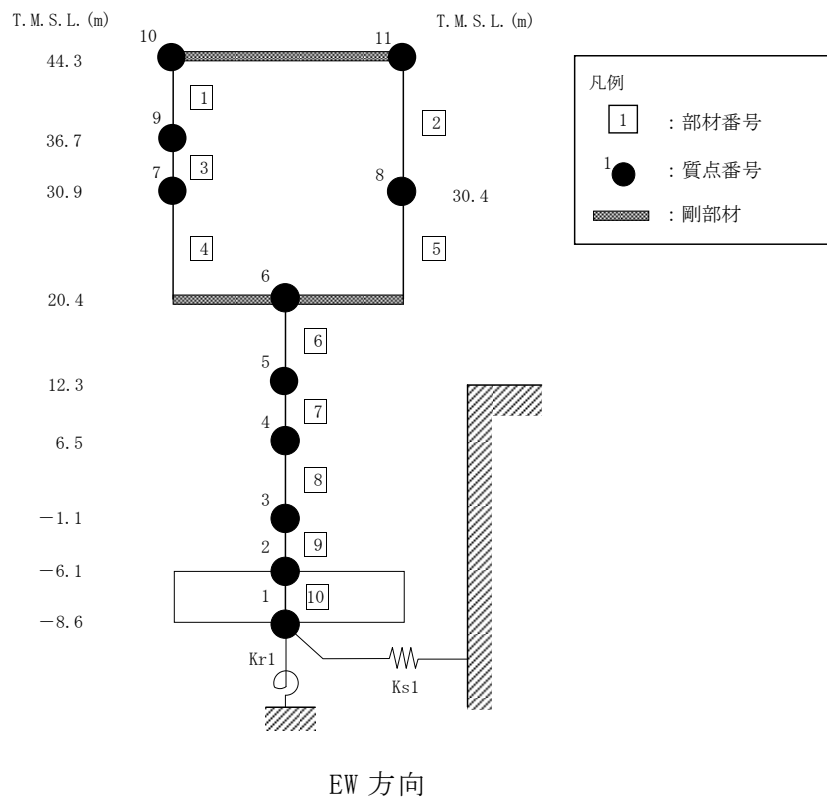
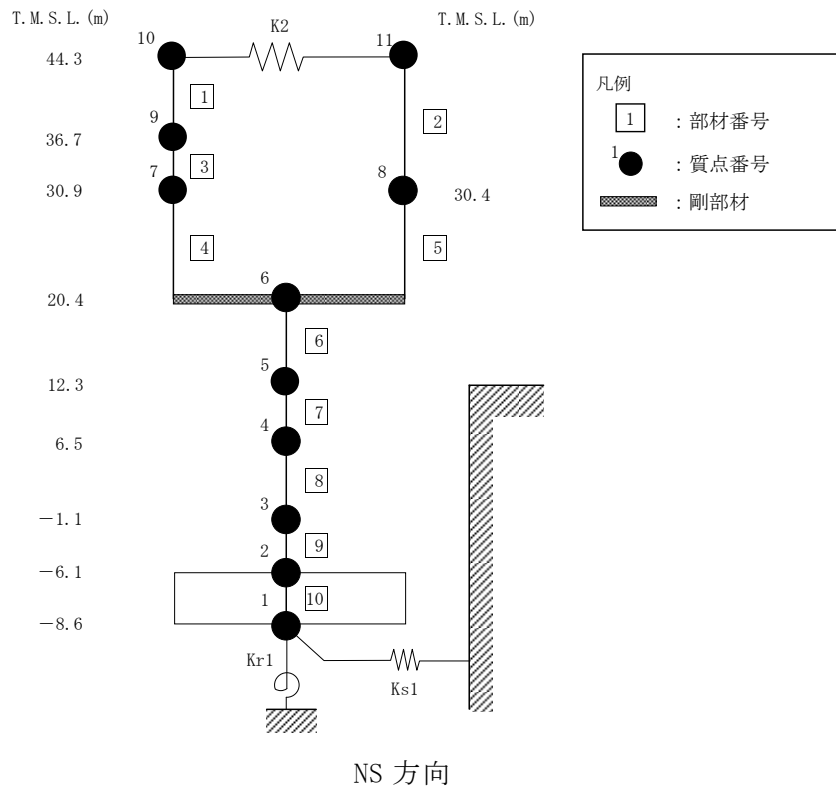
*3：材料物性の不確かさを考慮した検討。

図 1-2 上部構造物の検討フロー

(4) 組合せ係数法による評価値

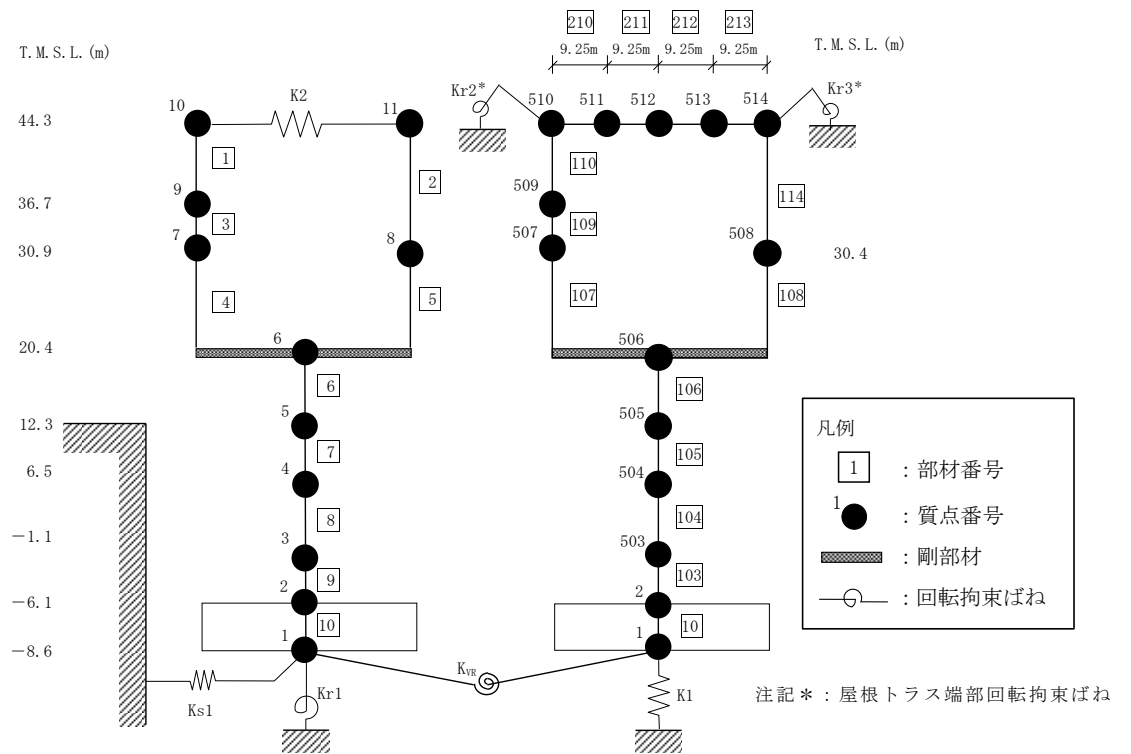
組合せ係数法による評価値と、水平及び鉛直方向の地震応答の時刻歴和による評価値の比較は、VI-2-5-5-1-2「復水貯蔵槽の耐震性についての計算書」による地震応答解析の基本ケースの結果に基づくものとする。

廃棄物処理建屋の地震応答解析モデルを図 1-3～図 1-4 に示す。



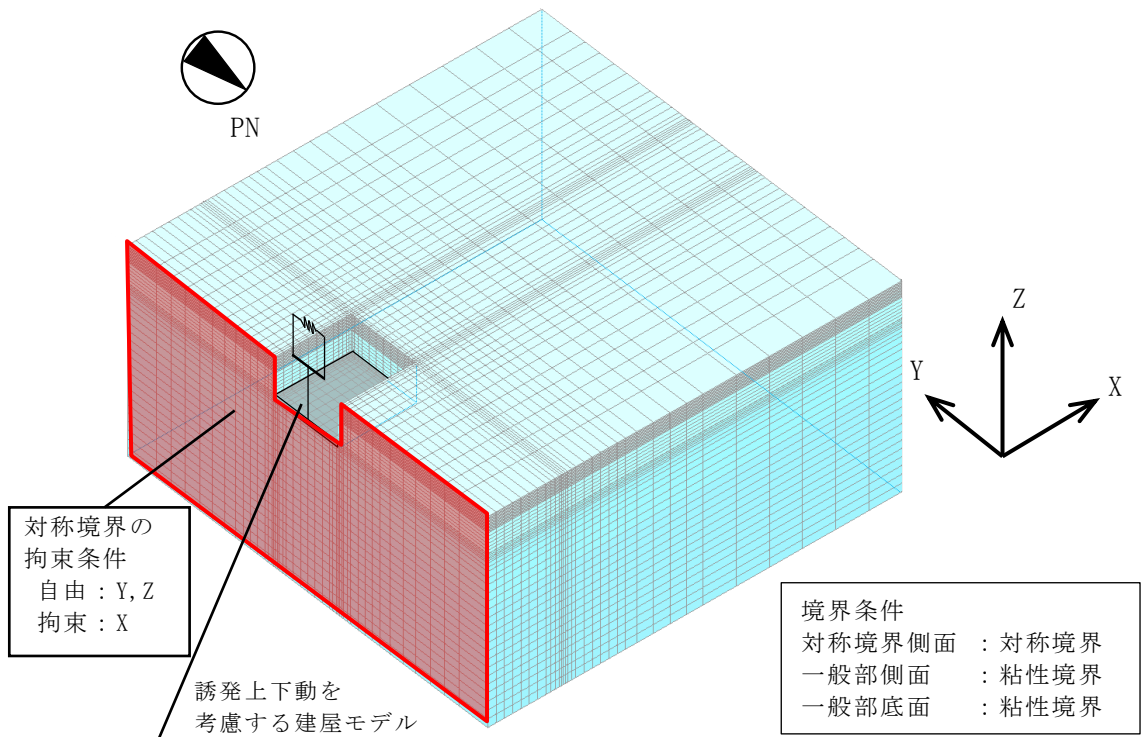
(a) 誘発上下動を考慮しない場合

図 1-3 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル（水平方向）（1/2）



NS 方向に自由度を持つモデル 鉛直方向に自由度を持つモデル

(b) 誘発上下動を考慮する場合 (NS 方向, Ss-2)



(c) 地盤を 3 次元でモデル化した場合 (NS 方向, Ss-1, Ss-3, Ss-8)

図 1-3 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (水平方向) (2/2)

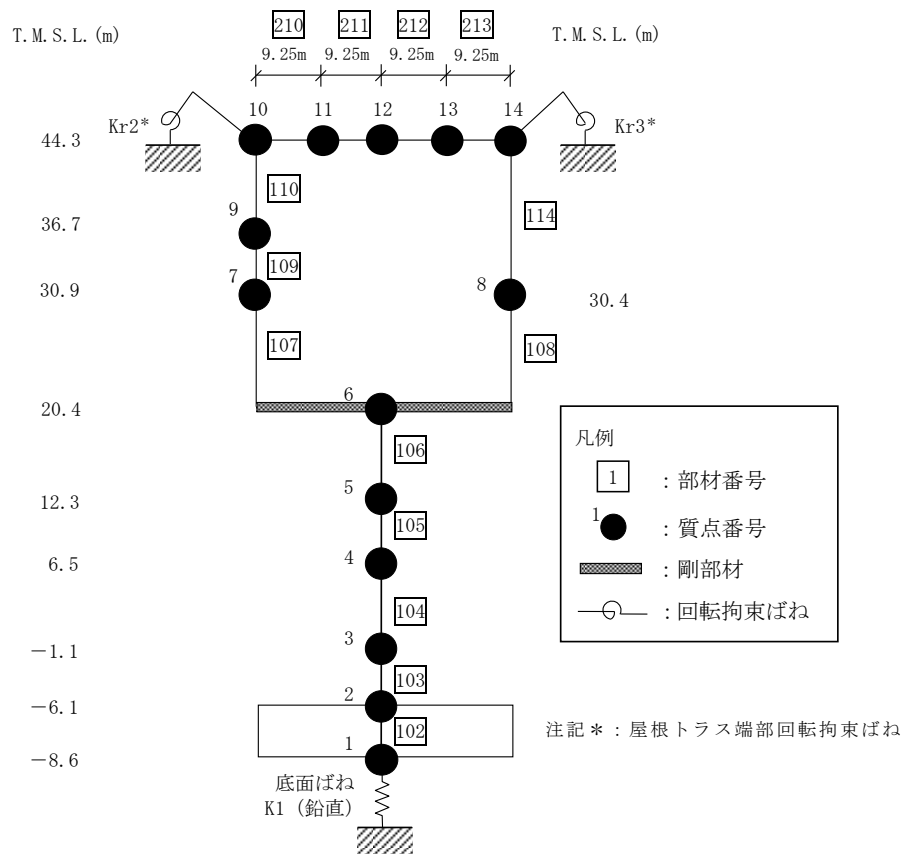


図 1-4 廃棄物処理建屋の地震応答解析モデル (鉛直方向)

2. 検討結果

2.1 地盤及び基礎スラブの検討

2.1.1 検討内容及び検討結果

検討内容及び検討結果については「VI-2-2-6 タービン建屋の耐震性についての計算書」の補足説明資料「別紙7 水平・鉛直を分離した解析について」及び令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画の説明資料「V-2-2-12 廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」の補足説明資料「別紙6 水平・鉛直を分離した解析について」による。

2.2 上部構造物の検討

2.2.1 検討内容及び検討結果

検討内容及び検討結果については、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画の説明資料「建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用(KK7 補足-026 資料15)」による。